

## 論文の内容の要旨

氏名：角 田 暉 平

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：教育施設を中心としたエネルギーネットワーク構築に関する研究

2011年3月11日に発生した東日本大震災及び、福島第一原子力発電所における事故等による電力需給の逼迫は、エネルギー供給の重要性を改めて認識させられた。この経験から、我が国では、コージェネレーションシステム(CGS: Co-Generation System)、再生可能エネルギー、省エネ技術、蓄電・蓄熱技術などを建物・地域単位でエネルギーの融通を行い、従来のエネルギー供給システムと相互補完しながら、クリーンかつ高効率で事業継続計画(BCP: Business Continuity Planning)を考慮した災害に対して強靱なエネルギーネットワークやスマートコミュニティの構築に向けた取り組みが推進されている。

教育施設は地域に必ず存在する施設で、全国にある公立小中学校(約30,000校)の90%以上が災害時の避難所に指定されている。しかしながら、避難所に指定されている小中学校での発電機の導入率は17%(約4,700校)に止まっており、避難所の指定と防災機能の実態が必ずしも整合していない。

このような背景から、今後のエネルギーネットワークの構築において、教育施設に周辺地域とエネルギー融通を行うためのCGSを設置し、教育施設をエネルギーネットワークの中心的な施設に位置付ける。それによって、教育施設が災害時にエネルギー供給が多様化されたレジリエントな施設として避難者や地域防災に貢献でき、平常時は周辺地域とのエネルギー融通及びエネルギー利用の最適化によって、省エネルギー及び省CO<sub>2</sub>に寄与できることに着目した。

本研究では、これまで未知であった教育施設における用途別エネルギー需要及び時刻別需要比率を明らかにした。これにより、様々な地域における教育施設を中心としたエネルギーネットワークの計画・立案に貢献できる成果を得た。また、将来的にエネルギー効率の高いエネルギーネットワークの構築に向けた省エネ自動制御の導入効果を明らかにし、平常時に適切に運用されているかどうか未知であった現状の教育施設におけるエネルギー利用状況について明らかにした。さらに、本研究で得られたエネルギー需要データ及び省エネ自動制御の効果を基に、教育施設を中心としたエネルギーネットワークを想定し、CGS導入による環境的・経済的便益に関する評価分析を行った。これにより、地域のエネルギー利用の最適化を行う上で、教育施設周辺に立地することが望ましい建物用途や、導入されるCGS規模と災害時に供給が可能となるエネルギー量等を明らかにした。

第1章「研究背景」では、本研究の背景と目的を述べ、既往研究における課題を抽出し、本研究の位置付けを明らかにした。エネルギー効率の高いエネルギーネットワークの計画を進めるにあたっては、基本計画時に対象地域におけるエネルギー需要を精度よく予測する必要がある。しかしながら、時刻別・用途別のエネルギー需要を計測し把握した既往研究では、「事務所ビル」「病院」「ホテル」「商業施設」「住宅」の5用途に限られていることと、調査から20年以上が経過しており、現状の教育施設におけるエネルギー需要を想定するためのデータが不足していた。また、避難所に指定されている教育施設のエネルギー需要が明らかにされていないことから、教育施設におけるCGS導入の適合性に関する研究や、周辺施設とエネルギー利用の最適化を目的とした研究が進められていないことが、避難所施設における防災機能の向上の課題及び今後のエネルギーネットワーク・スマートコミュニティの普及に向けた課題と言える。

第2章「小中学校におけるエネルギー需要実態把握」では、エネルギーネットワークの基本計画時の基礎データとなる、用途別エネルギー需要原単位及び時刻別需要比率を明らかにすることを目的とした。具体的には、区立小中学校6校(世田谷区)を対象に電力及びガス消費量の年間計測と、過去10年分のエネルギー消費データを収集し、小中学校における二次及び一次エネルギー消費量を整理した。また、整理したエネルギー消費量が、既存のデータベース(1,321校)と比較して平均的な消費量を示した5校を対象に、用途別エネルギー需要原単位及び時刻別需要比率を分析・整理した。この結果、小中学校におけるエネルギー需要量は、給食の調理の有無により各校の給湯需要の傾向に差異が生じるものの、「照明・コンセント用」や「冷暖房用」のエネルギー需要は小中学校で大きな差は生じない。また、単位面積当たりの照明コンセント用及び冷暖房用のエネルギー需要原単位は、参考文献に整理される「事務所」や「病院」、「ホテル」、「店舗」と比較して少なく、「住宅」と同程度であった。給湯用については、建物が利用される時間帯が類似

し、給湯利用が少ない「事務所」と同程度であった。また、給食を調理している学校においても、給湯用のエネルギー消費量は、全体のエネルギー消費に占める割合が非常に小さいことが明らかとなった。これまで教育施設の需要想定では参考文献における「事務所」の時刻別需要比率を参考にすることが多かったが、照明コンセント用の需要想定では、小中学校の需要パターンを概ね再現ができていないものの、空調用や給湯用については、「事務所」とは異なる学校特有の需要比率となっていることが明らかとなった。

第3章「大学におけるエネルギー需要実態把握」では、エネルギー需要を明らかにした小中学校の近隣に立地する日本大学文理学部を対象とし、エネルギーネットワークの基本計画時のベースとなる、大学における用途別エネルギー需要原単位及び時刻別需要比率を明らかにすることを目的とした。具体的には、2011年度から2013年度までの大学全体のエネルギー消費データをベースに、大学の一次エネルギー消費量の65%以上を占める受電設備における過去3年間の30分間隔電力計測データを用いて一次エネルギー消費量及び用途別エネルギー需要量の分析を行った。この結果、既存のデータベース（98校）と比較した結果、文理学部は、大学としては概ね平均的な一次エネルギー消費量となっており、小中学校の約3.5倍、事務所や商業施設の半分程度のエネルギー消費量となることが分かった。単位面積当たりのエネルギー需要原単位を小中学校の調査結果と比較すると、照明・コンセント用は小中学校の約4倍程度あるものの、空調負荷は2倍程度、給湯負荷は同等程度と、電力需要に対して熱需要が少なくなることが分かった。

第4章「省エネ自動制御導入効果の検討」では、エネルギー需要データを整理する上で、現状の教育施設におけるエネルギー利用が適切に行われているかを確認する必要がある、教育施設における省エネ自動制御の導入効果を明らかにすることを目的とした。具体的には、日本大学文理学部3号館の方位の異なる校舎四隅の3階及び4階の各4教室、計8教室を対象に、温湿度・照度・CO2濃度、人感センサーによるデータ計測を年間1分間隔で実施し、得られたデータを用いて「未使用室における空調・照明制御」「昼光利用による照明制御」「SET\*（標準新有効温度：Standard new Effective Temperature）を評価軸とした快適時における空調停止」等の省エネ自動制御を導入することを想定し、その省エネ効果について分析を行った。この結果、教室内における電力消費量に対して、南側教室における昼光利用は2.4%削減、未使用教室における消灯は18.0%削減、快適性を考慮した空調制御では9.2%削減、未使用室における空調停止は27.5%削減、合計で60%程度の省エネ効果が得られることが分かった。特に、未使用室の空調・照明制御による削減効果が大きく、教室で使用されるエネルギーの約半分を省エネ自動制御によって削減可能となった。この結果は、大学における未使用室のエネルギー消費が多いことを示し、大学における今後の省エネ対策に寄与するデータと言える。

第5章「教育施設を中心としたエネルギーネットワーク構築に向けた検討」では、ここまで明らかにしたエネルギー需要データや省エネ自動制御の効果を基に、教育施設を中心としたエネルギーネットワークモデルを想定し、教育施設及び地域でのエネルギー融通によるCGS等のシステム導入効果（環境性（省エネ効果）・経済性）について分析を行う。具体的には、災害時の避難所に指定されている小中学校に単独でCGSを導入した場合と、参考文献に記載される「事務所ビル」「病院」「ホテル」「店舗」「住宅」のエネルギー需要を基に、小中学校を中心として、それぞれの建物用途とエネルギー融通を行うエネルギーネットワークモデルを設定し、エネルギーシミュレーションを実施した。この結果、小中学校に単独でCGSを導入した場合、省エネ効果としては在校時間運転でCGS容量がピーク電力比30%が最も高くなることが分かり、10～20%のCGS容量では供給エネルギー量が不足するものの、40～50%まで大きくなると余剰となる排熱が多くなり省エネ効果が低下することが分かった。経済性としては、夜間の負荷が無くなることでCGSの稼働時間が制限され、エネルギーコスト削減効果が低下するものの、補助事業等を活用することで事業採算性を確保できることが分かった。また、小中学校を中心としたスマートコミュニティモデルに対してCGSを導入した場合、昼夜間ともに需要が発生するホテルや病院と連携し、CGS容量はピーク電力比30～50%設置して24時間連続してエネルギーを供給するシステムとすることで、補助事業を活用せずとも環境性と経済性を両立できるシステムを構築可能であることが分かった。これは、病院やホテルに限らずとも、昼夜間に熱需要が発生する建物用途と連携することが重要であることを示しており、例えば夜間給湯を使用するスポーツ施設や福祉施設、温泉・温浴施設なども有望な施設と言える。また、災害時のエネルギー供給量としては、小中学校単独でCGSを導入する規模よりも、周辺施設とエネルギー融通を想定したCGSの規模の方が大きくなる。これにより、災害時にも小中学校が通常通り授業を行える以上のエネルギー供給が可能となり、避難者や地域防災への貢献度が大きくなることを確認した。